

Композиты и наноструктуры (Composites and Nanostructures)

Научно-технический журнал

<http://www.issp.ac.ru/journal/composites>

ISSN 1999-7590

Издаётся с 2009 г.

Главный редактор профессор С.Т. Милейко

Редакционная коллегия

Алымов М.И., чл.-корр. РАН; Андриевский Р.А., проф.; Аннин Б.Д., академик; Бахвалов Ю.О., д-р. техн. наук;
Викулин В.В., проф.; Георгиевский Д.В., проф.; Глезер А.М., проф.; Колобов Ю.Р., проф.; Костиков В.И., чл.-корр. РАН;
Куперман А.М., проф.; Лурье С.А., проф.; Патлажан С.А., проф.; Победра Б.Е., проф.; Сапожников С.Б., проф.;
Севастьянов В. Г., чл.-корр. РАН; Сорова Т.Г., канд. техн. наук;
Столин А.М., проф.; Шмотин Ю.Н., канд. техн. наук

Редакционный совет

Л.Р. Вишняков, проф. (Украина); С.В. Ломов, проф. (Бельгия); A.R. Bunsell, проф. (Франция); K.K. Chawla, проф. (США);
T-W Chou, проф. (США); Sh. Du, проф. (КНР); T. Ishihara, д-р (Япония); A. Kohyama, проф. (Япония);
W.M. Kriven, проф. (США); L.M. Manocha, проф. (Индия); V.M Orera, проф. (Испания);
H. Schneider, проф. (Германия); K. Schulte, проф. (Германия); G.C. Sih, проф. (США); M. Singh, д-р (США);
H.D. Wagner, проф. (Израиль)

Учредители:

ИФТТ РАН;

ООО «Научно-техническое предприятие
«Вираз-Центр»

Редакция: ИФТТ РАН

Россия, 142432, г. Черноголовка

Московской обл.

Тел./Факс: +7(49652)22493

<http://www.issp.ac.ru>

Ведущий редактор: Н.А.Прокопенко

Издательство: ООО НТП «Вираз-Центр»

Россия, 105264, Москва,

ул. Верхняя Первомайская, д. 49, корп. 1 офис 401.

Почтовый адрес: Россия, 105043, Москва, а/я 29

Тел.: 7 495 290-34-73

<http://www.machizdat.ru>

e-mail: virste@dol.ru

Директор журнала: М.А.Мензулов

Вёрстка: А.А.Мензулов

Отпечатано: ООО «РПЦ ОФОРТ» г. Москва,

пр-кт Будённого, 21

Заказ №

Тираж 100

Цена – договорная

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации № ФС77-33449 от 08.10.2008.

Авторы опубликованных материалов несут полную ответственность за достоверность приведённых сведений, а также за наличие в них данных, не подлежащих открытой публикации. Материалы рецензируются.

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале, осуществляются только с разрешения редакции.

На первой стр. обложки: Рис. 1. Композитная сетчатая конструкция

Из статьи: КОНТИНУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КОМПОЗИТНЫХ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕК, ОБРАЗОВАННЫХ СИСТЕМОЙ СПИРАЛЬНЫХ РЕБЕР

Composites and Nanostructures

<http://www.issp.ac.ru/journal/composites/>

ISSN 1999-7590

Editor-in-Chief
Professor Sergei T. Mileiko

Editorial Board

Professor M.I. Alymov (Russia); Professor R.A. Andriyevskii (Russia); Professor B.D. Annin (Russia);
Dr Yu.O. Bakhvalov, (Russia); Professor A.R. Bunsell (France); Professor K.K. Chawla (USA); Professor T-W Chou (USA);
Dr T. Ishihara (Japan); Professor Sh. Du (China); Professor D.V. Georgievskii (Russia); Professor A.M. Gleser (Russia);
Professor A. Kohyama (Japan); Professor Yu.R. Kolobov (Russia); Professor V.I. Kostikov (Russia);
Professor W.M. Kriven (USA); Professor A.M. Kuperman (Russia); Professor S.V. Lomov (Belgium);
Professor S.A. Lurie (Russia); Professor L.M. Manocha (India); Professor V.M. Orera (Spain); Professor S.A. Patlazhan (Russia);
Professor B.E. Pobyedrya (Russia); Professor S.B. Sapozhnikov (Russia); Professor H. Schneider (Germany); Dr
Shmotin Yu. N. (Russia); Dr T.G. Sorina (Russia); Professor A.M. Stolin (Russia); Professor K. Schulte (Germany);
Professor V.G. Sevastyanov (Russia); Professor G.C. Sih (USA); Dr M. Singh (USA); Professor V.V. Vikulin (Russia);
Professor L.R. Vishnyakov (Ukraine); Professor H.D. Wagner (Israel)

Established by:

Solid State Physics Institute
Russian Academy of Sciences
(ISSP RAS)
and
Science Technical Enterprise
«Virag-Centre» LTD

ISSP RAS:

2, Institutskaya str., Chernogolovka, Moscow district., Russia,
142432

Tel./Fax: +7(49652)22493

<http://www.issp.ac.ru/journal/composites/>

Editor: Nelli Prokopenko

Publishing House:

STE Virag-Centre LTD
49/1, Verchnyaya Pervomayskaya str., Moscow,
Russia, 105043.
Phone: 7 495 290 34 73
<http://www.mashizdat.ru>

Director of journal

M.A. Menzullov

Making-up

A.A.Menzullov

Photo on the cover: *Fig. 1. Composite lattice structure*

CONTINUUM MODEL OF COMPOSITE LATTICE SHELLS FORMED BY HELICAL RIBS

СОДЕРЖАНИЕ

С.Т. Милейко

СИНЕРГИЗМ В КОМПОЗИТАХ 191

Известное определение композита, даваемое оксфордским словарём, - как неоднородной смеси соединённых между собой двух или более фаз, - не акцентирует внимание на одном из важнейших свойств композита, возникающим в результате должным образом конструирования композита. Более того, преобладающее положение в приложениях последних десятилетий лишь одного семейства композитов – углепластиков – заставило научную и технологическую общественность сфокусироваться на одном только примере синергизма в композитах, на трещиностойкости углепластиков- высокопрочных композитах благодаря высокой прочности волокна. Цель настоящей статьи – привлечь внимание исследователей к целому ряду синергетических эффектов, наблюдаемых как в композитах с пластичной металлической матрицей, так и в композитах с хрупкой матрицей. В частности, показано, что взаимное влияние волокна и матрицы в композите может существенно изменить свойства компонентов; учёт этих изменений позволяет оптимизировать как структуру композита, так и технологию его получения. Армирование тугоплавкой матрицы волокнами должного хим. состава может на порядки уменьшить скорость окисления матрицы. Взаимодействие хрупких компонентов в композите определяет нечувствительность композитов типа хрупкое-хрупкое к дефектам (с. 191–206; ил. 14).

Р.А. Андриевский

НАНОМАТЕРИАЛЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ 207

В обзоре кратко анализируется состояние результатов недавних исследований консолидированных наноматериалов в экстремальных условиях, особенно под действием комбинированных воздействий типа коррозионного растрескивания под напряжением, совместного влияния облучения и нагрева и т.д. Особое внимание уделено характеристике наноструктур, способных сохранять свои свойства в экстремальных условиях. В этом отношении наиболее перспективными кажутся двойниковые и градиентные наноструктуры. Отмечены малоизученные проблемы (с. 207–215; ил. 6).

A.R. Bunsell, A. Thionnet

**ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ДОЛГОВРЕМЕННУЮ НАДЕЖНОСТЬ
КОНСТРУКЦИЙ, АРМИРОВАННЫХ УГЛЕВОЛОКНОМ 216**

Современные композиты используют в настоящее время во многих критически важных гражданских приложениях, для которых долговременная надёжность абсолютно необходима.

Методы испытаний, применяемые для более традиционных металлических конструкций, как сейчас ясно, не дают достаточно надёжных результатов, будучи применёнными к композитным конструкциям. Поэтому очевидна необходимость разработки новых методов, основанных на понимании процессов повреждения композитных элементов. Многоуровневое моделирование, учитывающее характеристики волокон, матрицы и границы раздела, к настоящему времени достаточно развито. Оно позволяет исследовать накопление повреждений на стадии их устойчивого роста и определить критическую величину повреждения, определяющую разрушение конструкции в заданных условиях нагружения. Эта информация позволяет определить количественно коэффициент безопасности на основе знания характеристик структуры композита (с. 216–224; ил. 5).

Suresh Kumar, Rajesh Chandra, Anil Kumar, N. Eswara Prasad and L.M. Manocha

КОМПОЗИТЫ УГЛЕВОЛОКО – SiC ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ 225

Композиты с углеволокном в карбид-кремниевой матрице (C-SiC) являются идеальным материалом для снарядов с управляемым вектором тяги благодаря их высокой удельной прочности, сопротивлению эрозии и высокой температуре использования. Управление вектором тяги необходимо на начальной фазе запуска снаряда, когда аэродинамической силы недостаточно для нужного маневрирования. Среда, в которой работают направляющие лопатки в сопле, весьма агрессивна; при температурах до 2500°K потока со скоростями 3-4 М газ может нести твёрдые мелкие частицы оксида алюминия, вызывающие эрозию.

Для получения композитных лопаток разработан управляемый технологический процесс, основанный на инфильтрации расплава кремния. Лопатки были успешно испытаны в условиях работы совместно с твердотопливным ракетным двигателем. Настоящая статья описывает исследования, направленные на технологию получения лопаток (с. 225–230; ил. 4).

А.В. Игнатова, С.Б. Сапожников

**ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ АРАМИДНОЙ ТКАНИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЕМ
ЭНЕРГИИ УДАРА В СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТАХ 231**

Представлены экспериментальные результаты по влиянию поверхностной обработки арамидной ткани полимерными композициями, содержащими наноалмазы и углеродные нанотрубки, на эффективность рассеяния кинетической энергии пули трением эффектами. В первой части статьи представлены квазистатические испытания - вытягивание нити из арамидной ткани плотного переплетения P110. Во второй части проведены баллистические испытания для определения влияния поверхностной обработки ткани на величину глубины вмятины в специальноном пластине. Для примера поверхностная обработка тканей с утяжелением до 6% позволяет увеличить трение взаимодействие между нитями в 4 раза и приводит к снижению прогиба тканевого пакета при локальном ударе примерно на 20%. Показано также, что обработка вязкими жидкостями, эффективная при квазистатическом вытягивании нитей, теряет свою эффективность при локальном ударе (с. 231–240; ил. 6).

С.А. Фирстов, В.Ф. Горбань, Н.А. Крапивка, Э.П. Печковский, М.В. Карпец, А.В. Самелюк, В.Н. Ткач

**ФОРМИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИТЫХ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЭКВИАТОМНЫХ СПЛАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ М-ФАЗУ 241**

Изучены 7 литых многокомпонентных (5-7 элементов из числа Cr, Mo, W, Mn, Fe, Co, Ni) эквивалентных трехфазных сплавов, которые содержат поликомпонентные интерметаллидные μ -фазы (включают μ -образующие элементы Mo, W, Fe, Co) в сочетании с твердыми растворами замещения, которые имеют ОЦК и ГЦК кристаллические решетки. Все сплавы содержат вольфрам.

С учетом индивидуальных характеристик металлов, а также электронной концентрации Csd сплавов данного типа установлены закономерности и особенности формирования фазового состава и количественного соотношения фаз при кристаллизации и их влияние на механические свойства.

При кристаллизации расплава в первую очередь при температуре выше 2000 °C кристаллизуется ОЦК-твердый раствор замещения на основе вольфрама (~60 ат. %) и молибдена (~30 ат. %), который структурно представлен в виде дендритов. При температуре 1400-1500 °C образуется поликомпонентная μ -фаза, которая включает все элементы химического шихтового состава; содержание элементов близко к эквивалентному. Она также структурно представлена в виде дендритов, которые непосредственно прилегают практически ко всем первичным дендритам ОЦК-фазы. Затем при температурах 1270-1360 °C кристаллизуется ГЦК-твердый раствор замещения на основе ГЦК-металлов (их суммарное содержание составляет ~70 ат. %). ГЦК-фаза располагается в промежутках между дендритами и кристаллами μ -фазы, главным образом, в составе эвтектики, вторым компонентом которой является μ -фаза. Максимальное количество μ - и ОЦК-фаз в сплаве находится на уровне 50 масс. %, ГЦК-фазы – на уровне 65 масс. %.

С увеличением электронной концентрации от Csd = 7,40 до Csd = 8,00 эл/ат химического шихтового состава сплава количество μ -фазы в нем снижается от 50 до ~10 масс. %; в пределах Csd = 7,60-8,00 эл/ат количество ГЦК- и ОЦК-фаз незначительно возрастает.

Оптимальное сочетание высокотемпературных прочностных и пластических характеристик сплавов достигается при количественном соотношении μ -, ОЦК- и ГЦК-фаз на уровне, соответственно, 40-45-15 масс. %. Приведенный модуль упругости при индентировании E_t при комнатной температуре находится в пределах $E_t = 130-190$ ГПа (с. 241–258; ил. 7).

CONTENS

Mileiko S.T.

SYNERGY IN COMPOSITES 191

A well-known definition of composite as «a heterogeneous mixture of two or more homogeneous phases which have been bonded together» (Oxford dictionary) does not stress at an important property of the composite aroused as a result of appropriate mixing phases in composites. Moreover, an overwhelming growth of applications in the last decades of just one family of the composites - a family of carbon fibre reinforced plastics - makes people to focus on just one example of synergy in composites that is fracture toughness of the FRP, which are inherently strong due to the fibre. A purpose of the present paper is to draw attention to a number of the synergy effects arising in both ductile-metal matrix composites and brittle-matrix composites. In particular, it is shown that fibre/matrix interactions in a composite can affect essentially properties of the components. The composite microstructure and fabrication technology of composite elements can be optimized provided the effects mentioned are taken into account. Reinforcing refractory-metal matrix with a fibre of an appropriate chemical composition can yield a decrease by orders of the magnitudes in oxidation rate of the matrix. An interaction of brittle components in brittle-fibre/brittle-matrix composites determines damage tolerance of the composites (p. 191-206; fig. 14).

R.A. Andrievski

NANOMATERIALS IN EXTREME ENVIRONMENTS 207

The present review briefly examines results of the latest research of nanomaterials behavior under extreme conditions, especially in the case of combined effects of stress corrosion cracking, joint effect of temperature and irradiation, etc. Particular attention is paid to the characterization of nanostructures able to maintain their properties under extreme conditions. Twinned and gradient structures seem to be particularly promising for usage under extreme conditions. Lesser known problems are noted (p. 207-215; fig. 6).

A.R.Bunsell, A.Thionnet

FAILURE PROCESSES GOVERNING LONG TERM RELIABILITY

OF CARBON FIBRE COMPOSITE STRUCTURES 216

Advanced composites are now used in many critical civil applications for which long term reliability is an absolute necessity. Testing based on more traditional metal structures has been shown to be inappropriate and there is a pressing need to develop new tests based on an understanding of damage processes in composite structures. Multi-scale modelling which takes into account the characteristics of the fibres, matrix and fibre/matrix interfaces is now well developed. It allows the kinetics of fibre failure during monotonic loading and sustained loading of composites to be explored and identifies the critical damage levels leading to failure for these loading conditions. This information allows safety factors based on the intrinsic properties of the composites to be determined and quantified (p. 145-150; fig. 5).

Suresh Kuma, Rajesh Chandra, Anil Kumar, N. Eswara Prasad and L.M. Manocha

C/SIC COMPOSITES FOR PROPULSION APPLICATION 225

Carbon fiber reinforced silicon carbide (C-SiC) composites are ideal materials for thrust vectoring control of missiles due to their high specific strength, erosion resistance and high temperature capability. Jet-vanes based thrust vectoring control is required in the initial phase of the launch where aerodynamic forces are insufficient to get required maneuverability. The environment experienced by the jet-vanes is very severe with typical gases temperature around 2500K at about 3-4 Mach; the exhaust gases contain hard tiny particles of alumina and results in severe erosion of jet-vanes. An indigenized technology based on liquid-silicon-infiltration method is developed for C-SiC composite jet-vanes. The jet-vanes have been tested and repeatedly performed successfully in solid propellant rocket motor. This paper describes the research efforts put for developing the technology and fabrication of the Jet-Vanes (p. 225-230; fig. 4).

I.V.Ignatova, S.B.Sapozhnikov

SURFACE TREATMENT OF ARAMID FABRICS TO THE CONTROL IMPACT ENERGY

ABSORPTION IN LAYERED COMPOSITES 231

An experimental study of an effect of aramid fabric surface treatment by polymer compositions with nanodiamonds or carbon nanotubes on impact energy dissipation were presented. Dry friction between yarns of fabric is an effective way to absorb kinetic energy of a bullet. In the first part of the paper, the results of quasi-static yarn pull-out test of aramid plain woven fabric is presented. In the second part, the ballistic tests conducted to determine an effect of the surface treatment on the depth of indentations in a special plasticine. For example, surface treatment of fabrics with addition of just 5 wt. % increases the frictional interaction between yarns by 4 times and reduces the deflection of multilayer textile package under a local impact by about 20%. It is also shown that the viscous fluid, which is working effectively under quasi-static yarn pull-out test, loses its effectiveness under local impact (p. 231-240; fig. 6).

S.A.Firstov, V.F.Gorban, N.A.Krapivka, E.P.Pechkovsky, M.V.Karpets, A.V.Sameljuk, V.N. Tkach

FORMATION OF PHASE COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTIES OF CAST

MULTICOMPONENT EQUIATOMIC ALLOYS WITH μ -PHAS 258

Seven cast multicomponent (5-7 elements, among which Cr, Mo, W, Mn, Fe, Co, Ni) equiatomic three-phase alloys are studied. They contain intermetallic polycomponent μ -phases that include μ -forming elements Mo, W, Fe, Co) together with BCC- and FCC-substitutional solid solutions. Tungsten is present in all alloys.

Formation of the phase compositions of the alloys was studied taking into account individual characteristics of the chemical elements and their electronic concentration Csd. At melt crystallization at a temperature higher than 2000 °C, BCC-substitutional solid solution crystallizes on the basis of tungsten (~60 at. %) and molybdenum (~30 at. %) is crystallized first as dendrites. At temperatures between 1400 and 1500 °C a polycomponent μ -phase, which includes all elements, is formed; the contents of elements being close to equiatomic. It has also a dendrite shape, contacts all primary dendrites BCC-phase. Then at temperatures 1270-1360 °C, FCC-substitutional solid solutions crystallizes on the basis of FCC-metals (their total content is ~70 at. %). It locates mainly between dendrites and crystals of μ -phase in composition of eutectic in which the μ -phase is second component. The maximum quantity of μ - and BCC-phases in an alloy is about 50 mass. %, FCC-phase is about 65 mass. %.

When electronic concentration increases from Csd = 7.40 up to Csd = 8.00 el/at the quantity of μ -phase decreases from 50 to ~10 mass. % in the interval of Csd between 7.60 and 8.00 el/at, the quantity of FCC and BCC-phases is going up just slightly.

An optimum combination, high-temperature strength and ductility of alloys is achieved at a quantitative ratio of μ -, BCC- and FCC-phases equal to 40-45-15 mass. %. The elastic modulus of alloys at room temperature measured by indentation is between 130 and 190 GPa (p. 241-258; fig.7).